

Title	Study on Communication System From the Perspective of Improving Signal-to-Noise Ratio( Abstract_要旨 )
Author(s)	Tsuda, Hirofumi
Citation	Kyoto University (京都大学)
Issue Date	2019-03-25
URL	<a href="https://doi.org/10.14989/doctor.k21915">https://doi.org/10.14989/doctor.k21915</a>
Right	
Type	Thesis or Dissertation
Textversion	ETD

様式VI

## 博士学位論文調査報告書

論文題目

Study on Communication System From the Perspective of Improving  
Signal-to-Noise Ratio

(通信システムにおけるSN比の改善に関する研究)

申請者氏名 津田 宏史

最終学歴 平成 28 年 9 月

京都大学 大学院 情報学 研究科 数理工学専攻 修士課程 修了  
平成 31年 3 月

京都大学大学院情報学研究科

数理工学専攻博士後期課程  
研究指導認定見込

論文調査委員 京都大学大学院情報学研究科  
(調査委員長) 梅野 健 教 授

論文調査委員 京都大学大学院情報学研究科  
山下 信雄 教 授

論文調査委員 京都大学大学院情報学研究科  
守倉 正博 教 授

( 続紙 1 )

京都大学	博士（情報学）	氏名	津田 宏史
論文題目	Study on Communication System From the Perspective of Improving Signal-to-Noise Ratio		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>無線通信は現代社会で必要不可欠なシステムとなっており、その送られるデータも非常に大きなものとなっている。そのため、よりたくさんの情報を確実かつ高速に送受信するため数多くの研究が行われている。そういった通信品質の基本評価指標がビット誤り率であり、この値を小さくすることが実際の通信システムの設計上も情報理論的にも重要な課題である。しかしながら、ビット誤り率自体の解析は一般に困難であることが同時に知られている。</p> <p>本論文は、まずSNR最大化という最適化問題に適するSNRの表現を新たに与え、更にこの結果を元にCDMAとOFDMという2つの代表的な通信システムについてSNRを大きくするための手法の構築とその評価結果に関する研究成果を報告したもので、全6章から成っている。</p> <p>第1章は序論であり、通信路容量の観点からSNRを定義し、さらにSNRとビット誤り率との関係、OFDMシステムにおいてはPeak-to-Average Power Ratio(PAPR)と雑音との一般的な関係を紹介し、本論文の研究目的と扱う内容についてまとめている。</p> <p>第2章では、CDMAとOFDMの両解析に現れる相関についての表現法について述べる。相関はperiodic correlationとodd periodic correlationの2つに分けることができるが、固有値と固有ベクトルの観点から、第3章以降で用いる解析に適したSNRの表現を与える。</p> <p>第3章では、非同期CDMAについて、Weylの一様定理に基づいて構成されたWeylクラスの拡散符号の場合を解析し、ユーザ数が与えられている時のSNRにおいて最適なパラメータを導出する。さらにその解がKKT条件を満たすことを示す。こうして得た最適な拡散符号を他の拡散符号とのビット誤り率を比べ、最適符号の優位性を論じる。</p> <p>第4章では、非同期CDMAのSNRのフェージングがある場合の一般的な表現式を与える。更に、フェージングがない状況下で、あるユーザに着目したときの最大のSNRと、それを達成する符号の満足する条件を導出する。この結果より、最大の通信路容量を近似的に導出することが可能となった。</p> <p>第5章では、OFDMシステムにおけるPAPRの抑制法のひとつである、Partial Transmit Sequence (PTS) Techniqueについて論じる。本章では、MIMOでよく使われる技術であるSemidefinite Relaxationによる解法を提案する。この解法から、正規分布の共分散行列を定め、そうして得た正規分布からサンプルベクトルを得て解の候補とするPTS手法を導出する。数値計算において従来法のPhase Random Methodと比較する。</p> <p>第6章では、PAPRの相補累積分布関数の上界を導出する。本章ではシンボルの独立性等の仮定をし、シンボルのモーメントから得られるPAPRの相補累積分布関数の上界を導出する。この上界から、PAPRをユニタリ行列で抑制する方法を導出する。数値計算において、本章で得られた上界を抑制することでPAPRが小さくなっていることにより、本提案手法の有用性を確認する。</p> <p>第7章は結論であり、本論文のまとめと今後の課題を述べている。</p>			

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し  
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

現代社会のインフラとなる情報通信システムにおいて重要な評価指標であるビット誤り率は、実際の通信システムの設計上の評価のみならず情報理論的にも送信可能なデータレートの理論限界を与える根拠ともなり、数多くの研究が行われてきた。その多くが、実際の通信システムを構築した上での実験的研究、またはモデル化によるシミュレーション評価を行うものであり、情報通信システムの理論限界を考える上で重要なビット誤り率の理論的な評価を与えるのは困難であった。一方、近年の無線通信システムの評価において、ビット誤り率の直接的な評価に代わりうる指標として、SNRが大きければビット誤り率が小さいという関係を有するSNRの統計的な評価を行う理論(モンテカルロシミュレーションの理論評価)が構築されてきた。

以上の背景の下、本論文では、SNR最大化という通信システムの最適化問題に適するSNRの表現を新たに与え、さらにこの結果を元にCDMAとOFDMという2つの代表的な通信システムについてSNRを大きくするための新手法を提案している。さらに得られた手法と既存手法との比較を、最適化問題を解くことにより理論的に、また数値実験により性能評価している。主要な成果は以下の通りである。

#### 1. SNRの新しい表現の提案

相関はperiodic correlationとodd periodic correlationの2つに分けることができるが、固有値と固有ベクトルの観点から、SNRの解析評価に適した新たな表現を与えている。

#### 2. 非同期CDMAにおける最適なWeylクラス拡散符号の決定と評価

非同期CDMAにおいて干渉雑音に反映される他ユーザーからの符号相関の和の最小化という最適化問題を解析し、KKT条件を満足する最適なパラメータの決定とSNRの評価を与え、他提案符号と比較してビット誤り率が低くなることを示している。

#### 3. 非同期CDMAにおいて特定ユーザーに着目した時の最大のSNRの導出

フェージングがない非同期CDMAシステムにおいて、あるユーザーに着目した時の最大のSNRの理論値を得ることに成功した。その着目するユーザーの拡散符号が満足すべき最適符号条件も陽に与えている。

#### 4. OFDMシステムにおけるPAPR抑制法の提案と評価

OFDMシステムにおける新たなPAPR抑制法を2つ提案している。Semidefinite RelaxationによるPartial Transmit Sequence (PTS) Technique が一つ目の提案であり、もう一つはユニタリ行列をオンラインで更新してPAPRを抑制する方法であり、どちらも既存手法と比較評価し、抑制すべきPAPRが既存手法と比較して小さくなっていることにより両提案手法の有用性を確認している。

以上のように、本論文では、SNR最大化という通信システムの最適化問題に適するSNRの表現を新たに与え、更にこの結果を元にCDMAとOFDMという2つの代表的な通信システムについてSNRを大きくするための新手法を提案し、従来法と比較してより良質な通信品質を達成するという、優れた結果が得られている。特に、3. において導出された非同期CDMAにおいて最大のSNRを達成する符号満足する最適符号条件及びSNRの最大値は、最適非同期CDMAの確立に有効であり、情報理論におけるシャノンの通信容量と密接に関わるものであり、学術上意義深い結果であるといえる。よって、本論文は博士(情報学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成31年2月8日に論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。

注)論文審査の結果の要旨の結句には、学位論文の審査についての認定を明記すること。

更に、試問の結果の要旨(例えば「平成 年 月 日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。」)を付け加えること。

Webでの即日公開を希望しない場合は、以下に公開可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降